

陸上短距離走における二軸トレーニングが 走動作に及ぼす影響

枝松 千尋¹⁾・梶原女公美¹⁾・楠本 一樹²⁾・福田 克幸³⁾

藤岡 亮一³⁾・飯田 智行⁴⁾・川上 雅之¹⁾

1) 倉敷芸術科学大学生命科学部

2) 兵庫教育大学大学院学校教育研究科

3) 倉敷芸術科学大学大学院人間文化研究科

4) 沖縄工業高等専門学校総合科学科

(2010年10月1日 受理)

I. 緒 言

陸上競技短距離種目は速く走ることを競う単純明快な競技である。単純であるがゆえに、選手の身体能力やランニングフォームが直接的にタイムに繋がり、レースの勝敗を決する。現在、指導者や選手の日々の創意工夫の中で様々な走理論が考案され、多様なランニングフォームやトレーニング方法が提唱されている。

その中で、末續慎吾選手が2003年に200mの日本新記録(20秒03)を樹立した。さらに同年世界選手権パリ大会200mで、日本の陸上短距離史上初のメダルを獲得する快挙を成し遂げた。なぜ末續選手がこのような走りができるかが話題になり、ここで「二軸走法(なんば走り)」が一般に知られるようになった¹⁾。そして末續選手の指導者である高野進氏による「二軸走法へのドリルトレーニング」が陸上競技界で流行するようになった²⁾。

二軸走法に対して「中心軸走法」がある。中心軸走法とは、身体の軸を頭頂から両足の真ん中への垂線として捉え、この垂線を基準に骨盤を左右に回転させ、肩と腰を互いに反対方向へ捻じりながら走る技術である。これに対し、二軸走法とは、身体の軸を左右それぞれの肩甲骨と股関節を結ぶ2本の軸として捉え、身体を捻じることなく左右軸の素早い切り替えを行いながら走る技術である²⁾。力学的に考えると、身体を捻じるとは疾走方向に関係しない中心軸周りの回転に関する力学的エネルギーを発生させてしまう。二軸走法ではこのエネルギーのロスを防ぐことができるために、腕ふりのエネルギーを肩甲骨を介して体幹部から直接的に脚部に伝達できると考えられる³⁾。

一方、短距離走にとって股関節屈筋である腸腰筋(腸骨筋・大腰筋)は非常に重要な筋である⁴⁾。腸腰筋は離地後において回復脚を身体前方に振り込んでいく際に大きな筋力を要求される。疾走時において腸腰筋が大きな筋力を発揮できる選手は回復脚をより素早く前方に持ってくるができるためピッチを高めることができるとともに、作用反作用によって蹴り足のキック力も高めることができると考えられる。しかしながら、ヒトが二足

歩行になった代償として腸腰筋が股関節中心の近くを通る形態となっており⁵⁾、ヒトの腸腰筋のモーメントアームは四足歩行の動物に比べて圧倒的に小さくなっている。二軸走法では、体幹部を捻じらず素早く軸の切り替えを行うこととともに、先取り動作の獲得もポイントとして挙げている。先取り動作とは、体幹部の捻じり防止にも繋がる動作であるが、回復脚の骨盤を早いタイミングで前方に移動させる技術である^{6) 7)}。このことによって、弱点とされる腸腰筋の機能を補助してやることができると考えられる。つまり、離地直後において腕ふりのエネルギーをタイミング良く骨盤から股関節を介して大腿部に伝達することで、腸腰筋だけの筋力によって大腿部を前方に移動させるのではなく関節反力によって大腿部を前方に移動させることができる。

以上のことから、二軸走法の理論は力学的・機能解剖学的に考えて有効な走技術であると考えられるが、バイオメカニクス的手法を用いて定量的に検証した報告は少ない。そこで、本研究では二軸走法のメカニズムおよび利点を定量的に明らかにするための一助として、中心軸走法の被験者に二軸走法ドリルトレーニング（高野進氏流）を行わせることで、走動作（特に三次元関節トルクおよび関節反力）にどのような影響を及ぼすかを定量的に検証することを目的とした。

II. 方 法

1. 被験者とトレーニング内容

被験者は、陸上未経験者の女性1名（身長153 cm, 体重43 kg, 年齢21歳）であった。被験者に8週間（週3回）の二軸走法ドリルトレーニング²⁾を行わせた。その内容は、①片足つま先立ち膝上げ10秒×左右2回、②片足つま先立ち膝上下10回×左右2回、③膝上げ片足前方スキップ×左右3セット、④膝上げ片足横向きスキップ×左右3セット、⑤膝上げ片足ジグザグスキップ×左右3セット、⑥パンチングウォーク×左右3セット、⑦斜め向きラダーまたぎ越し歩き×左右3セット、⑧斜め向きハードルまたぎ越し歩き（腕振りを入れて）×左右3セット、⑨斜め向きハードルまたぎ越しツースキップ×左右3セット、⑩斜め向きハードルまたぎ越しツースキップ距離長×左右3セット、⑪ギャロップスキップ×左右3セット、⑫ギャロップスキップ距離長×左右3セット、⑬ホップシザーススキップ×左右3セット、⑭ホップシザーススキップ距離長×左右3セット、⑮100m流し5本であった。

2. データ収集

(1) 計測 1

50m走（条件：土のグラウンド、ランニングシューズ）を全力で2本走らせ、タイム（手動）を計測した。この計測は、トレーニング前（以下PRE）と、ドリルトレーニングの一過性の影響をみるためドリルトレーニングの指導・練習後（以下DRL）、8週間のドリル

トレーニング後(以下 POST) に実施した。

(2) 計測 2

疾走中の走フォームと床反力を計測するために、実験室内にてハイスピードカメラ(Photron社製 FASTCAM-512PCI 2KC) 4台とフォースプレート(Kistler社製 Type9286A)を用いた。サンプリング周波数は500Hzであった。被験者に室内シューズと全身タイツ、水泳帽を着用させた。また、被験者の身体特徴点(頭頂、首、腰、側頭(左右)、肩(左右)、肘(左右)、手首(左右)、上前腸骨(左右)、大転子(左右)、膝関節(左右)、外果(左右)、中足骨(左右))の21か所に反射マーカを貼付した。実験試技は、フォースプレートに右足接地する走動作7本、左足接地する走動作7本の計14本を計測した。走路は全長25mで、15m地点の動作を計測し、ゴール地点には大型マットを設置しぎりぎりまで疾走できるようにした。視線は目の高さに合わせて目印を注視させた状態で疾走させた。走速度は全力疾走ではなく、PRE, DRL, POSTで5.8~6.3 m/sになるように統一した。

3. データ解析

3次元解析ソフト(ディテクト社製 DippMotionXD Ver3.20)を用いて、4台のハイスピードカメラの映像から21点の反射マーカを二値化処理した後に、DLT法によって各マーカの3次元座標を求めた(図1)。解析区間は、対象脚が離地した時点から、フォースプレートに接地し、そしてまたフォースプレートから離地するまでの1サイクルとした。得られた3次元座標時系列データは、欠落点がある場合は3次スプライン関数によって補間した後に、バターワースデジタルフィルタ⁸⁾にて遮断周波数10Hzで平滑化処理を行った。その後、体表に貼付した反射マーカの位置から下肢3関節の関節中心位置を推定した。さらに、3次元関節中心位置データと床反力データから、3次元関節トルクおよび関節反力を算出した。補間処理以降の解析処理はC言語にて自作したプログラムにて行った。

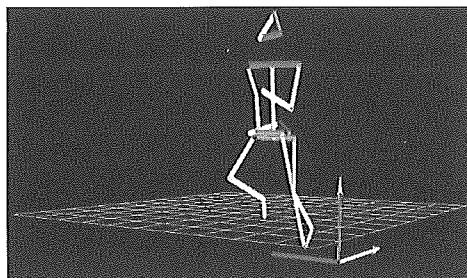


図1 3次元化された走動作

4. 関節中心の推定

関節トルクを算出するにあたって体表に貼付した反射マーカ座標から、関節中心へ内挿する必要がある。足関節については、外果と中足骨を結ぶ足部ベクトルと膝と外果を結ぶ下腿ベクトルの外積方向へ足関節幅の半分だけ内挿した。同様に、膝関節においても下

腿ベクトルと大腿ベクトルの外積方向へ膝関節幅の半分だけ内挿した。股関節中心については、一般的に大腿骨骨頭頸部の前捻角は 25 度であり、頸体角は 125 度の鈍角なしている⁹⁾。このことから大腿ベクトルに対して股関節中心を推定し内挿した。

5. 移動座標系の定義

本研究では、以下のように大腿、下腿、足部の各セグメントに移動座標系を設定した(図2)。それぞれのセグメントで遠位端から近位端へ向かうベクトルを Z 軸とした。隣接する2つのセグメントの外積方向を Y 軸とした。そして、Z 軸と Y 軸の外積から X 軸を定めた。トルクの向きは各セグメントの軸に対して右ネジ方向を正とした。

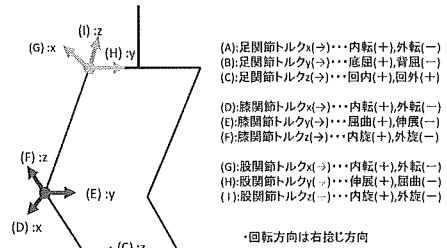


図2 下肢三関節の移動座標系

6. 関節トルク、関節反力の算出

本研究では3次元的に下肢三関節の関節モーメントと関節反力を算出した。オイラー角微分法を用いて各セグメントに固定された移動座標系の回転角として3次元角速度および角加速度を算出した。得られた角速度および角加速度と各セグメントの身体部分係数³⁾から次式に示すオイラーの運動方程式によって各関節トルクを算出した。足部セグメントから近位セグメントへ順次解くことによって算出した。その際に、オイラーの座標変換によってセグメント間の座標変換を行った。

$$\Sigma T_x = I_x a_x + (I_z - I_y) \omega_y \omega_z$$

$$\Sigma T_y = I_y a_y + (I_x - I_z) \omega_z \omega_x$$

$$\Sigma T_z = I_z a_z + (I_y - I_x) \omega_x \omega_y$$

I_x, I_y, I_z : 各軸まわりの主慣性モーメント

a_x, a_y, a_z : 各軸まわりの角加速度

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$: 各軸まわりの角速度

T_x, T_y, T_z : 各軸まわりに作用する外力によるトルク

III. 結 果

50m 走の記録は PRE のタイムは 1 本目が 7 秒 61、2 本目は 7 秒 54 であった。DRL のタイムは 1 本目が 8 秒 00、2 本目は 7 秒 96 であった。POST のタイムは 1 本目 2 本目と

もに7秒43であり、1PRE2本目の7秒54と比べると0.11秒タイムが縮まった。

1. キネマティクスデータ

実験室内で行った走フォームについての実験結果である。最大努力で走った際のデータではなく、走速度をトレーニング前後で同一にして実験を行った最大下のデータであることに注意していただきたい。結果を表1に示す。

接地時間は、左接地の場合に、PREに対してPOSTでは有意に接地時間が縮まっていた。右接地の場合は、有意差がみられなかった。ピッチについては、左接地の場合にPREに対してDRLとPOSTでは有意にピッチが高まっていた。右接地の場合、有意差がみられなかった。ストライドには有意な変化はみられなかった。骨盤と肩のねじれについては、左接地の場合にPREに対してPOSTでは有意に体幹のねじれが小さくなっていた。右接地の場合にはPREに対してDRLとPOSTで有意差がみられ、ドリル後・トレーニング後で体幹のねじれが小さくなっていた。はさみこみ動作についてであるが、腕のはさみこみは左接地の場合には有意差はみられなかった。右接地の場合にはPREに対してDRLとPOSTで、有意に腕振り運動が速く行なえていた。脚のはさみこみは、左右の接地ともに有意差はみられなかった。腕のはさみこみと脚のはさみこみのタイミングとは、それぞれの角速度ピーク値の時間差を算出したもので、左右ともに有意差はみられなかったが、PREからPOSTにかけて腕と脚のタイミングが合ってきている傾向がみられた。

2. 床反力

床反力については、左接地の場合の鉛直方向最大値はPREとPOSTに対してDRLで有意に床反力の力が小さくなっていた。また、ブレーキ値での有意差はみられなかったが、PREからPOSTにかけてブレーキ力が小さくなる傾向がみられた。右接地の場合の鉛直方向最大値はPREに対してDRLとPOSTで有意に床反力の値が小さくなった。ブレー

表1 走フォームの変化

	左脚接地			右脚接地		
	PRE	DRL	POST	PRE	DRL	POST
接地時間 (秒)	0.126	0.123	0.118 *	0.123	0.124	0.122
ピッチ (秒)	0.516	0.492 *	0.487 *	0.519	0.509	0.495
ストライド (m)	2.874	2.813	2.832	2.892	2.827	2.798
体幹のねじれ角 (度)	46.9	40.8	37.0 *	50.6	42.7 *	38.7 *
腕はさみこみ角速度 (度/秒)	606.3	705.6	655.9	504.5	809.9 *	744.1 *
脚はさみこみ角速度 (度/秒)	950.9	1006.3	937.1	878.9	849.6	929.9
腕と脚のはさみこみタイミング (秒)	0.064	0.065	0.055	0.040	0.031	0.024
鉛直方向の床反力 (Kgw)	168.1	154.1 *	163.1	159.6	149.3 *	149.0 *
ブレーキ方向の床反力 (Kgw)	21.9	17.2	17.8	25.3	21.7	19.3

* PREに対する有意差 (p<0.05)

キ値については左接地と同様に PRE から POST にかけてブレーキ力が小さくなる傾向がみられた(表1)。

3. 関節トルク

関節トルクについては、図3に示すように股関節では離地時から屈曲トルク(最大-90Nm程度)を發揮し、振り下げ期には伸展トルク(最大110Nm程度)を發揮していた。接地中は、接地前半で伸展トルク(最大150Nm程度)を發揮し、接地後半では大きなトルクは發揮していなかった。左接地の場合に、離地してから脚を振り込みそこから振り下げる時点で PRE と DRL に対して POST では有意に大きな伸展トルクを發揮していた(図4)。右接地の場合は、有意差はみられなかった。

膝関節では離地時から振り込み期ではあまりトルクを發揮せず、振り下げ期で屈曲トルク(最大110Nm程度)を發揮していた(図3)。接地中は、伸展トルク(最大-140Nm程度)を發揮していた。左右共に有意差はみられなかった。

足関節ではスイング期ではほとんどトルクを發揮していない(図3)。接地中には、大きな底屈トルク(最大170Nm程度)を發揮していた。左右共に有意差はみられなかった。

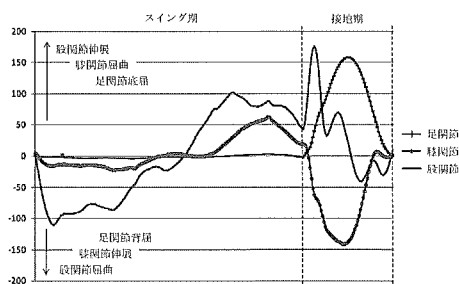


図3 下肢三関節の屈曲伸展方向の関節トルク波形

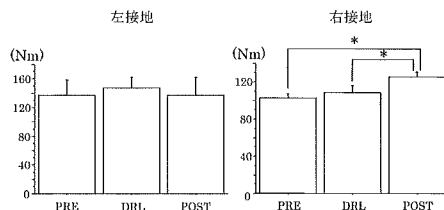


図4 接地直前の接地脚振り下げ時の股関節トルクの変化

4. 関節反力

関節反力については、振り込み方向への股関節反力は、左接地の場合、有意差はみられなかった。右接地の場合は、離地直後の大腿を振込方向に引き出す関節反力が PRE に対して DRL では有意に大きくなっていった(図5)。

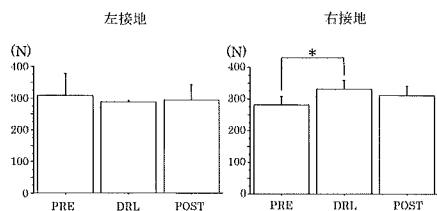


図5 スイング初期の振り込み方向への股関節反力の変化

IV. 考 察

高野進流の二軸走法ドリルトレーニングでは、トレーニング中の意識ポイントとして、肩甲骨から腕振りを行うことや、接地時に脚へしっかり乗り込んでいくこと、脚の股関節

を中心にスイング脚を振り込む「はさみこみ動作」をしっかり行うこと、上肢と下肢をはさみこみ動作を同調させること、体幹をねじらず走ること、素早い軸の切り替えと先取り動作を行うことなどがある²⁾。本研究の結果から、高野進流の意識ポイントである腕振りスピードが速くなり、腕のはさみこみと脚のはさみこみのタイミングも同調する傾向にあった。体幹のねじりもトレーニング前よりも小さくなった。さらに接地によるブレーキ力が小さくなったことから、接地脚への乗り込みが巧くなったと考えられた。これらのことより高野進流の二軸動作へと移行していると考えられた。走動作の二軸走法への移行によって、接地直前の接地脚振り下げ時の股関節トルクが大きくなった。このことは接地脚への乗り込み動作に直接的に貢献するとともに、骨盤を介し逆脚の離地直後の振り込み方向股関節反力を高めることにつながると考えられた。このことと、腕のはさみこみ動作の技術向上および体幹のねじれの減少によって、腕振りのエネルギーおよび反対脚からのエネルギーが巧く伝達され、先取り動作^{6) 7)}と考えることのできる離地直後の脚を前方方向へと持っていく振り込み方向への股関節反力が大きくなったと考えられた。これらの要因によって、トレーニング後において50m走のタイムが0.11秒縮まったと考えられた。

V. 結 論

本研究では二軸走法のメカニズムおよび利点を定量的に明らかにするための一助として、中心軸走法の被験者に8週間の二軸走法トレーニングを行わせ、その前後で走動作がどのように変化したかを定量的に検証した。その結果、以下のことが明らかとなった。

1. 50m走では、タイムが0.11秒縮まった。
2. 体幹のねじれ角が小さくなった。
3. はさみこみでは、接地期の腕振りスピードが速くなり、腕のはさみこみと脚のはさみこみのタイミングも同調する傾向にあった。
4. 股関節トルクでは、接地直前の振り下げる時点で、トレーニング後に大きな伸展トルクが発揮されるようになった。
5. 股関節反力では、ドリル後で離地直後の脚を前方方向へと持っていく振り込み方向への股関節反力が大きくなった。

以上のことより、二軸走法へのドリルトレーニングによって走動作が変化し、特に股関節を中心とした力発揮および力の伝達の様式が変わることで、疾走タイムを縮めることができる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 小田伸午：運動科学アスリートのサイエンス，丸善株式会社，2003
- 2) 高野進：スプリント革命|高野進流日本人のための二軸走法，スキージャーナル株式会社，2007
- 3) 阿江道良，藤井範久：スポーツバイオメカニクス20講，朝倉書店，2002
- 4) 横井孝志，林貢一郎，八十島崇，小峰秀彦，菅原順，金子文成，木塚朝博：歩行から走行への動作推

移様態に関するバイオメカニクス的研究, 体力科学53 (6), p863, 2004

- 5) J.CASTANING, Ph.BURDIN, J.DELPLACE, La coll.de J.D.LEROY, 井原秀俊訳: 図解関節運動器の機能解剖 下肢編, 協同医書出版, p48-49, 1986
- 6) 松尾彰文: 走動作の骨盤と肩の動き, 体育の科学56 (3), p162-167, 2006
- 7) 松尾彰文: 疾走中の複雑な骨盤の動きを3次元的にみる, 体育の科学 60 (3), p145-150, 2010
- 8) D.A.Winter: Biomechanics and motor control of human movement 2nd, John wiley & Sons, p34-53, 1990
- 9) I.A.KAPANDJI, 萩島秀男訳: カパンディー関節の生理学Ⅱ下肢, 医歯薬出版, p18-19, 1986

Effects of bi-pivots running method training on running form in sprinter.

Chihiro EDAMATSU¹⁾, Megumi KAJIWARA¹⁾, Kazuki KUSUMOTO²⁾,
Yoshiyuki FUKUDA³⁾, Ryoichi FUJIOKA³⁾, Tomoyuki IIDA⁴⁾, Masayuki KAWAKAMI¹⁾

*1) College of Life Science, Kurashiki University of Science and the Arts
2640 Nishinoura, Tsurajima-cho, Kurashiki-shi, Okayama 712-8505, Japan*

*2) Graduate School of Education, Hyogo University of Teacher Education
942-1 Shimokume, Kato-shi, Hyogo 673-1494, Japan*

*3) Graduate School of Science and the Humanities, Kurashiki University of Science and the Arts
2640 Nishinoura, Tsurajima-cho, Kurashiki-shi, Okayama 712-8505, Japan*

*4) Department of Integrated Arts and Science, Okinawa National College of Technology
905 Henoko, Nago-shi, Okinawa 905-2192, Japan*

(Received October1, 2010)

The purpose of this study was to investigate the effects of bi-pivots running method training on running form in sprinter. The training was provided three times a week for 8 weeks. Running motions were analyzed by three-dimensional motion analysis method with four high-speed cameras and a force platform (500Hz). Major variables computed were the joint torques and the joint reaction forces by hip, knee and ankle joints. The following results were obtained:

- 1) The running speed was increased.
- 2) The twist range of torso was decreased.
- 3) The swing speed of the arm at contact phase was increased, and the timing of peak scissors speed of leg swing to arm swing tended to synchronize.
- 4) The hip joint torque at the end of swing phase was increased.
- 5) The hip joint reaction force at the initial of swing phase was increased.

These results suggest that 8 week bi-pivots running method training increase running speed, by changing the use of hip extensor muscles and the strategy of energy transfer around the hip joint.